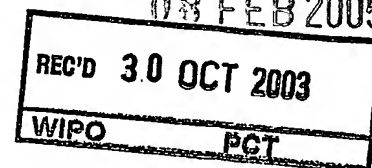


10 / 524186

08 FEB 2005



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 39 045.2

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Anmeldetag:**

26. August 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Osram Opto Semiconductors GmbH, Regensburg/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zum Herstellen eines elektromagnetische  
Strahlung emittierenden Halbleiterchips und elektro-  
magnetische Strahlung emittierender Halbleiterchip

**IPC:**

H 01 L 31/18

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Oktober 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Faust

## Beschreibung

Verfahren zum Herstellen eines elektromagnetische Strahlung  
emittierenden Halbleiterchips und elektromagnetische Strah-  
5 lung emittierender Halbleiterchip

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines  
elektromagnetische Strahlung emittierenden Halbleiterchips  
auf AlGaInP-Basis mit den Verfahrensschritten: Bereitstellen  
10 eines Substrats; Aufbringen einer Halbleiterschichtfolge auf  
das Substrat, welche eine Photonen emittierende aktive  
Schicht enthält; und Aufbringen einer transparenten Auskop-  
pelschicht, die  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$  mit  $0,8 \leq y$  und  $x+y \leq 1$ , insbe-  
sondere GaP umfaßt. Die Erfindung betrifft auch ein elektro-  
15 magnetische Strahlung emittierendes Halbleiterchip auf  
AlGaInP-Basis mit einem Substrat, einer auf dem Substrat auf-  
gebrachten Halbleiterschichtfolge mit einer Photonen emittie-  
renden aktiven Schicht und einer auf der aktiven Schicht an-  
geordneten transparenten Auskoppelschicht, die GaP umfaßt.

20

Vorliegend zählen zu den Materialien auf Basis von InGaAlP  
alle Mischkristalle mit einer Zusammensetzung, die unter die  
Formel  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$  mit  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $x+y \leq 1$   
fällt. Zu den elektromagnetische Strahlung emittierenden  
25 Halbleiterchips auf AlGaInP-Basis zählen alle Halbleiter-  
chips, bei denen die Halbleiterschichtfolge, in der sich eine  
elektromagnetische Strahlung erzeugende Schicht befindet, zu-  
mindest zu einem wesentlichen Anteil Material auf Basis von  
InGaAlP aufweist und die Eigenschaften der vom Halbleiterchip  
30 emittierten Strahlung von dem auf InGaAlP basierenden Mate-  
rial zumindest wesentlich bestimmt sind.

Das AlGaInP Materialsystem ist für die Anwendung in Leucht-  
dioden sehr interessant, da seine Bandlücke durch die Variie-  
35 rung des Al-Anteils über einen weiten Bereich von 1,9 eV bis  
2,2 eV einstellbar ist. Das bedeutet, daß Leuchtdioden aus

diesem Material im Farbbereich von Rot bis Gelbgrün hergestellt werden können.

Zur Herstellung solcher Leuchtdioden mittels Epitaxie wird  
5 ein Substrat benötigt, auf dem die verschiedenen Halbleiterschichten der Halbleiterschichtenfolge möglichst einkristallin abgeschieden werden können. Ein Substrat für die Epitaxie von auf AlGaInP basierenden Leuchtdioden sollte dabei die folgenden Bedingungen erfüllen:

10

- Es muß eine Gitterkonstante besitzen, die es ermöglicht, die Materialsysteme AlGaInP und AlGaAs einkristallin abzuscheiden,

15

- es muß bei den verwendeten Prozeßtemperaturen noch ausreichend fest sein, und

- es muß in ausreichend guter Qualität kommerziell erhältlich sein.

20

Alle genannten Bedingungen werden von GaAs-Substraten erfüllt. Daher wird GaAs weltweit als Substrat für AlGaInP Leuchtdioden eingesetzt. Unter dem Gesichtspunkt einer wirtschaftlichen Herstellung der Leuchtdioden haben GaAs Substrate allerdings den Nachteil, daß sie sehr teuer sind. An-  
25 dere Substratmaterialien weisen entweder eine große Gitterfehlanpassung auf oder sind für die gängigen Prozeßschritte nicht hinreichend geeignet.

30

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, das eine technisch einfache und kostengünstige Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterchips auf AlGaInP-Basis erlaubt.

35

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen

gen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 8.

Ein elektromagnetische Strahlung emittierender Halbleiterchip, der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbar ist, ist Gegenstand des Anspruches 9. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Halbleiterchips sind Gegenstand der Unteransprüche 10 bis 11.

10 Erfindungsgemäß ist bei einem Herstellungsverfahren der eingangs genannten Art vorgesehen, daß das Substrat im Wesentlichen Germanium aufweist und daß die transparente Auskoppelschicht bei niedriger Temperatur aufgebracht wird. Germanium weist eine mit den Materialsystemen AlGaInP und AlGaAs gut  
15 verträgliche Gitterkonstante auf und ist in hoher Qualität kommerziell erhältlich. Darüber hinaus beträgt der Preis für ein Germaniumsubstrat nur etwa die Hälfte des Preises für ein GaAs-Substrat, so daß beim Herstellungsprozeß ein großes Einsparungspotential entsteht.

20 Der geringeren thermischen Stabilität von Germanium im Vergleich zu GaAs wird dadurch Rechnung getragen, daß der besonders kritische Schritt des Aufwachsens der Galliumphosphid umfassenden transparenten Auskoppelschicht bei einer niedrigen Temperatur durchgeführt wird, bei der das Germaniumsubstrat noch eine ausreichende Festigkeit aufweist.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß die transparente Auskoppelschicht  
30 unter Verwendung von Tertiärbutylphosphin (TBP,  $(C_4H_9)_3PH_2$ ) als Phosphorquelle aufgebracht wird. Bei herkömmlichen Leuchtdioden auf AlGaInP-Basis wird typischerweise eine Lichtauskoppelschicht aus GaP verwendet, die unter Verwendung von Phosphin ( $PH_3$ ) bei einer Temperatur oberhalb von 800 °C epitaktisch abgeschieden wird. Derartige Temperaturen im Reaktor  
35 sind für Germaniumsubstrate zu hoch. Dagegen ermöglicht es die Verwendung von Tertiärbutylphosphin als Phosphor-Precur-

sor, eine GaP-Lichtauskoppelschicht hoher Qualität bei deutlich niedrigeren Prozeßtemperaturen abzuscheiden.

Insbesondere ist es besonders zweckmäßig, die transparente Auskoppelschicht bei einer Temperatur unterhalb von 780° C, bevorzugt unterhalb von 750° C aufzubringen.

Besonders bevorzugt ist es, wenn die transparente Auskoppelschicht bei einer Temperatur von etwa 700° C aufgebracht wird.

Ebenso ist es oft zweckmäßig, die transparente Auskoppelschicht unter Verwendung von Trimethylgallium als Galliumquelle aufzubringen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß die transparente Auskoppelschicht in einer Dicke aufgebracht wird, die zwischen  $0.5 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$  und  $4.0 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$ , bevorzugt bei etwa  $((A * \tan \theta_c) / 2)$  liegt. Dabei bezeichnet A die laterale Abmessung der Photonen emittierenden aktiven Schicht, und  $\theta_c$  den kritischen Winkel am Übergang von der transparenten Auskoppelschicht zur Umgebung. Der Verlust durch innere Reflexionen in der Auskoppelschicht und durch Absorption im Substrat kann vorteilhafterweise minimiert werden, wenn sich die Schichtdicke der Auskoppelschicht im genannten Bereich befindet.

Für eine GaP-Auskoppelschicht mit  $n = 3,3$ , die an eine Epoxydharzschicht mit  $n = 1,5$  angrenzt, ergibt sich durch die Beziehung

$$\sin \theta_c = n_{\text{epoxy}} / n_{\text{GaP}}$$

beispielsweise ein kritischer Winkel von  $\theta_c = 27^\circ$ . Bei einer typischen lateralen Abmessung der aktiven Schicht von  $A = 250 \mu\text{m}$  wird dann die Dicke der GaP-Auskoppelschicht zwischen etwa

32  $\mu\text{m}$  und etwa 255  $\mu\text{m}$  gewählt. Besonderes bevorzugt ist für die Dicke ein Wert um 64  $\mu\text{m}$ .

5 In einer zweckmäßigen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die transparente Auskoppelschicht mittels organometallischer Dampfphasen-Epitaxie (OMVPE) aufgewachsen.

10 Das V/III-Verhältnis wird bei dem Aufwachsen der transparenten Auskoppelschicht mit Vorteil auf einen Wert von 5 bis 20, bevorzugt von etwa 10 eingestellt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung des Ausführungsbeispiels und der Zeichnung.

15

Weitere Vorteile, bevorzugte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Erläuterung eines Ausführungsbeispiels in Zusammenhang mit der Zeichnung. Es sind jeweils nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt.

20

Die einzige Figur zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht eines strahlungsemittierenden Halbleiterchips nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

25

Figur 1 zeigt in Schnittansicht einen allgemein mit 10 bezeichneten auf AlGaInP basierenden Leuchtdiodenchip 10 in schematischer Darstellung.

30 Der Leuchtdiodenchip 10 umfaßt ein Germaniumsubstrat 12, auf dem eine Halbleiterschichtfolge 14 ausgebildet ist. Die Halbleiterschichtfolge 14 ist im Ausführungsbeispiel eine Doppelheterostruktur, die eine aktive, Photonen emittierende auf AlGaInN basierende n-Typ Schicht 22 aufweist, die von einer  
35 auf AlGaInN basierenden n-Typ Mantelschicht unterhalb der aktiven Schicht und einer auf AlGaInN basierenden p-Typ Mantelschicht oberhalb der aktiven Schicht eingeschlossen wird.

Derartige Strukturen und Schichtfolgen sind dem Fachmann bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert. Die genannten Schichten sind, wie im Stand der Technik bekannt, mit geeigneten p-Dotierstoffen wie Zn, C oder Mg  
5 bzw. mit geeigneten n-Dotierstoffen wie Te, Se, S und Si auf den gewünschten Fremdstoffgehalt dotiert.

Die aktive Halbleiterschichtenfolge 14 kann alternativ eine Multiquantentopfstruktur aufweisen, wie sie beispielsweise  
10 ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannt sind.

Auf die p-Typ AlGaInP-Mantelschicht ist eine dicke Lichtauskoppelschicht 16 aus GaP aufgebracht. Da die Bandlücke der GaP-Schicht größer als die der aktiven Schicht ist, ist die  
15 Lichtauskoppelschicht 16 für eine in der aktiven Schichtenfolge 14 erzeugte elektromagnetische Strahlung durchlässig.

Der für den Betrieb des Leuchtdiodenchips notwendige Strom wird der aktiven Schicht des Leuchtdiodenchips 10 vorliegend  
20 über einen Vorderseitenkontakt 18 und einen Rückseitenkontakt 20 zugeführt. Alternativ können die Kontakte aber auch anders als im Ausführungsbeispiel explizit gezeigt angeordnet sein.

Die Lichtauskoppelschicht 16 ist mittels organometallischer Dampfphasen-Epitaxie (OMVPE) aufgebracht. Dabei wird als  
25 Phosphor-Quelle Tertiärbutylphosphin (TBP,  $(C_4H_9)PH_2$ ) und als Gallium-Quelle Trimethylgallium verwendet, und es ist ein V/III Flußverhältnis von etwa 10 gewählt. Die Wachstumstemperatur beträgt im Ausführungsbeispiel 720 °C, eine Temperatur,  
30 bei der das Germaniumsubstrat im Reaktor noch ausreichend fest ist.

Die Dicke der Lichtauskoppelschicht 16 wird in Abhängigkeit von der lateralen Ausdehnung der aktiven Schicht der Schichtenfolge 14 gewählt. Die Dicke der Lichtauskoppelschicht 16  
35 wird im Bereich von  $0.5 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$  bis  $4.0 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$  gewählt.  $\theta_c$  stellt dabei den kritischen Winkel

am Übergang 24 von der transparenten Auskoppelschicht 16 zur Umgebung dar. Für die GaP-Schicht 16, die mit der ganzen Leuchtdiode in eine nicht gezeigte Epoxydharzschicht eingegossen ist, ist der kritische Winkel  $\theta_c = 27^\circ$ .

5

Im Ausführungsbeispiel hat die Schichtenfolge 14 einen Querschnitt von  $250 \mu\text{m} \times 250 \mu\text{m}$ , die laterale Ausdehnung A beträgt somit  $250 \mu\text{m}$  und der Faktor  $((A \cdot \tan \theta_c)/2)$  ist gleich  $64 \mu\text{m}$ . Dieser Wert stellt in dem Ausführungsbeispiel der Figur

10

gerade die Dicke der Auskoppelschicht 16 dar. Der einfacheren Herstellung halber kann die Schichtdicke jedoch auch geringer gewählt werden, etwa herab bis zur Hälfte des genannten Wertes, ohne die Auskopplungseffizienz übermäßig stark zu reduzieren.

15

Die in der vorstehenden Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

20



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemittierenden Halbleiterchips auf AlGaInP-Basis mit den Verfahrensschritten:
- 5     - Bereitstellen eines Substrats (12);
- Aufbringen einer Halbleiterschichtfolge auf das Substrat, welche eine Photonen emittierende aktive Schicht (22) enthält; und
- 10    - Aufbringen einer transparenten Auskoppelschicht (16), die  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$  mit  $0,8 \leq y$  und  $x+y \leq 1$ , insbesondere GaP umfaßt,
- d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t, daß
- das Substrat (12) im Wesentlichen aus Germanium gebildet
- 15    ist und
- die transparente Auskoppelschicht (16) in einem Temperaturbereich bis maximal 800°C aufgebracht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
- 20    d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t, daß
- die transparente Auskoppelschicht (16) unter Verwendung von Tertiärbutylphosphin als Phosphorquelle aufgebracht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
- 25    d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t, daß
- die transparente Auskoppelschicht (16) bei einer Temperatur unterhalb von 780° C, bevorzugt unterhalb von 750° C aufgebracht wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- 30    d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t, daß
- die transparente Auskoppelschicht (16) bei einer Temperatur von etwa 700° C aufgebracht wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
- 35    d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t, daß

die transparente Auskoppelschicht (16) unter Verwendung von Trimethylgallium als Galliumquelle aufgebracht wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß  
die transparente Auskoppelschicht (16) in einer Dicke aufgebracht wird, die zwischen  $0.5 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$  und  $4.0 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$ , bevorzugt bei etwa  $((A * \tan \theta_c) / 2)$  liegt,  
wobei A die laterale Abmessung der Photonen emittierenden aktiven Schicht bezeichnet, und  $\theta_c$  den kritischen Winkel am  
10 Übergang von der transparenten Auskoppelschicht zur Umgebung darstellt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß  
die transparente Auskoppelschicht (16) mittels organometallischer Dampfphasen-Epitaxie (OMVPE) aufgewachsen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß  
die transparente Auskoppelschicht (16) bei einem V/III-Verhältnis von 5 bis 20, bevorzugt von etwa 10 aufgewachsen wird.

25 9. Strahlungsemittierendes Halbleiterchip auf AlGaInP-Basis mit  
- einem Substrat (12);  
- einer auf dem Substrat aufgetragenen Halbleiterschichtfolge (14) mit einer Photonen emittierenden aktiven Schicht (22);  
30 und  
- einer auf der Halbleiterschichtfolge (14) angeordneten transparenten Auskoppelschicht (16), die  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$  mit  $0,8 \leq y$  und  $x+y \leq 1$ , insbesondere GaP umfaßt,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß  
35 - das Substrat (12) aus Germanium gebildet ist.

10. Strahlungsemittierendes Halbleiterchip nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die transparente Auskoppelschicht (16) eine Dicke aufweist,  
die zwischen  $0.5 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$  und  $4.0 * ((A * \tan \theta_c) / 2)$ , be-  
vorzugt bei etwa  $((A * \tan \theta_c) / 2)$  liegt,  
wobei A die laterale Abmessung der Photonen emittierenden ak-  
tiven Schicht (22) bezeichnet, und  $\theta_c$  den kritischen Winkel  
am Übergang (24) von der transparenten Auskoppelschicht (16)  
zur Umgebung darstellt.

10

11. Strahlungsemittierendes Halbleiterchip nach Anspruch 9  
oder 10,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die transparente Auskoppelschicht (16) eine Dicke aufweist,  
die zwischen  $0.5 * (A/4)$  und  $4.0 * (A/4)$ , bevorzugt bei etwa  
 $(A/4)$  liegt, wobei A die laterale Abmessung der Photonen  
emittierenden aktiven Schicht (22) bezeichnet.

15

## Zusammenfassung

Verfahren zum Herstellen eines elektromagnetische Strahlung  
emittierenden Halbleiterchips und elektromagnetische Strah-  
5 lung emittierender Halbleiterchip

Bei einem Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemittie-  
renden Halbleiterchips auf AlGaInP-Basis mit den Verfahrens-  
schritten: Bereitstellen eines Substrats; Aufbringen einer  
10 Halbleiterschichtfolge auf das Substrat, welche eine Photonen  
emittierende aktive Schicht enthält; und Aufbringen einer  
transparenten Auskoppelschicht, die GaP umfaßt, ist erfin-  
dungsgemäß vorgesehen, daß das Substrat aus Germanium gebil-  
det ist und daß die transparente Auskoppelschicht bei niedri-  
15 ger Temperatur aufgebracht wird.

Figur 1

10 →

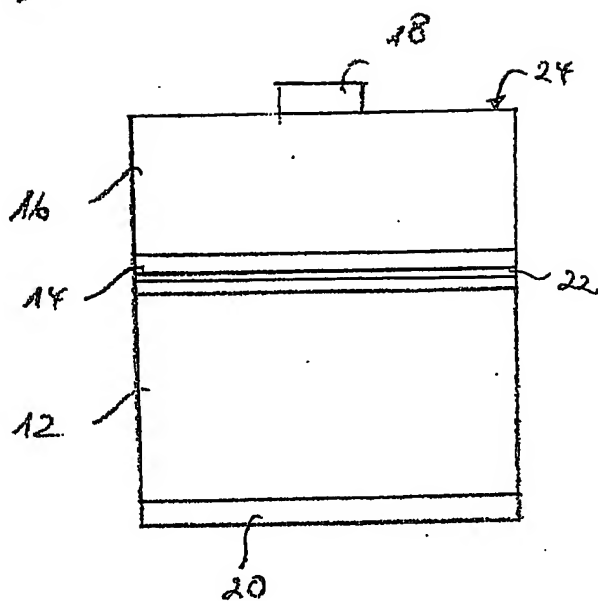


Fig.